

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201709023

引文格式: 沈校, 王振兴, 陈丽琼, 等. 加拿大一枝黄花提取物的抗氧化活性研究 [J]. 广西植物, 2018, 38(3):299-305  
SHEN X, WANG ZX, CHEN LQ, et al. Antioxidant activity of extracts from *Solidago canadensis* [J]. *Guihaia*, 2018, 38(3):299-305

# 加拿大一枝黄花提取物的抗氧化活性研究

沈校<sup>1,2</sup>, 王振兴<sup>1,3</sup>, 陈丽琼<sup>1,2</sup>, 关家怡<sup>1,2</sup>, 邹峥嵘<sup>1,2\*</sup>

(1. 江西师范大学 生命科学学院, 南昌 330022; 2. 江西省亚热带植物资源保护与利用重点实验室, 南昌 330022; 3. 西南林业大学 轻工与食品工程学院, 昆明 650224)

**摘要:** 为进一步开发和利用加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*), 该研究采用氯化铝显色法和福林酚法测定加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物中的总黄酮和总酚的含量; 以抗坏血酸 (Vitamin C, Vc) 和二丁基羟甲苯 (BHT) 为阳性对照, 应用 2, 2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS)、1, 1-二苯基苦基苯肼 (DPPH) 自由基清除体系、铁离子还原能力 (FRAP) 法和抗氧化能力指数 (ORAC) 法研究其体外抗氧化活性。结果表明: 乙酸乙酯萃取物中的总黄酮 (202.45 mg · g<sup>-1</sup>) 和总酚 (485.94 mg · g<sup>-1</sup>) 含量最高, 且其抗氧化活性最强, 并强于阳性对照 Vc ( $P < 0.05$ )。因而, 加拿大一枝黄花乙酸乙酯萃取物将有可能成为一种潜在天然高效抗氧化剂, 具有广泛的应用前景。

**关键词:** 加拿大一枝黄花, 提取物, 抗氧化活性

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)03-0299-07

## Antioxidant activity of extracts from *Solidago canadensis*

SHEN Xiao<sup>1,2</sup>, WANG Zhenxing<sup>1,3</sup>, CHEN Liqiong<sup>1,2</sup>,GUAN Jiayi<sup>1,2</sup>, ZOU Zhengrong<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; 2. Key Laboratory of Protection and Utilization of Subtropic Plant Resources of Jiangxi Province, Nanchang 330022, China; 3. College of Light Industry and Food Sciences, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In order to develop and utilize *Solidago canadensis* (*Solidago*), the total flavonoids and phenolic contents in its ethanol extract (70%), and different polarity extracts were investigated by AlCl<sub>3</sub> assay and Folin-Ciocalteu assay, respectively, and the *in vitro* antioxidant activities of them were also studied by several methods including ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assay, with Vc and BHT as positive control. The results showed that the ethyl acetate extract possessed the highest amount of total flavonoids (202.45 mg · g<sup>-1</sup>) and phenolic (485.94 mg · g<sup>-1</sup>), and it had the strongest antioxidant activity than other extracts, even higher than Vc ( $P < 0.05$ ). Thus, the ethyl acetate extract of *S. canadensis* can be regarded as a kind of potential resource of high-efficiency and natural antioxidants. This will provide the references for further exploiting and utilizing the *S. canadensis*.

**Key words:** *Solidago canadensis*, extracts, antioxidant activity

收稿日期: 2017-10-29

基金项目: 国家自然科学基金 (31760099); 国家“十二五”科技支撑计划项目 (2011BAC13B04); 江西省教育厅科技项目 (GJJ14249) [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31760099); National Key Technology R &amp; D Program of China During the 12th Five-Year Plan (2011BAC13B04); Science and Technology Education Department of Jiangxi (GJJ14249)].

作者简介: 沈校 (1993-), 女, 湖南永州人, 硕士, 研究方向为天然产物化学, (E-mail) smilershenxiao@163.com。

\*通信作者: 邹峥嵘, 博士, 教授, 主要从事天然产物化学研究, (E-mail) zouzhr@163.com。

加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 属菊科 (Compositae) 一枝黄花属植物, 因其黄色艳丽的花序又被称为加拿大黄金条, 原产于北美地区, 20 世纪 30 年代作为庭院观赏植物引入我国南京、上海等地 (中国科学院中国植物志编辑委员会, 1985)。其发达的根状茎能产生大量无性繁殖体, 逸生至野外后迅速扩散至浙江、江苏、安徽、江西、湖南、台湾等地 (Lu, 2007), 为国家环保局公布的我国外来入侵物种之一 (龙连娣等, 2015)。为有效防控该植物的扩散, 人们采用人工、化学和生物等防治技术 (王峰, 2012), 虽然取得一些效果, 但消耗的物力、人力和财力较大, 而对外来入侵植物的合理利用则是控制入侵物种的有效手段 (唐路恒和马利民, 2015)。目前对加拿大一枝黄花的研究多集中在化学成分和生物活性上, 包括黄酮类 (钱慧等, 2015)、萜类 (Zeng et al, 2012) 和精油 (Huang et al, 2012) 等, 抗菌、抗肿瘤、平喘、降血脂 (李军红等, 2007; Huang et al, 2012; 沈校和邹峥嵘, 2016) 等。在抗氧化活性方面的研究主要集中在乙醇或甲醇提取物上 (汤晓和朱建华, 2012; 王开金等, 2006; Mccune & Johns, 2002), 而对加拿大一枝黄花不同极性萃取物的抗氧化活性研究却较少。

抗氧化剂在预防和治疗癌症 (Kasala et al, 2016)、心血管疾病 (Sugamura & Jr, 2011)、精神分裂症 (Wu et al, 2013) 等疾病中起关键性作用, 在食品中适当添加抗氧化剂是保证食品质量安全的重要措施之一 (尤新, 2006)。天然抗氧化剂因其具有无毒副作用、无残留、无污染、稳定、安全等优点而受到人们青睐 (勾明玥等, 2010)。本研究以加拿大一枝黄花地上部分为材料, 对其乙醇提取物及其不同极性萃取物的化学成分进行初步分析, 对其抗氧化活性进行较为全面的检测, 以期对加拿大一枝黄花的资源化利用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和试剂

所有材料采均集于江西省南昌市孔目湖畔,

经江西师范大学生命科学学院邹峥嵘教授鉴定为加拿大一枝黄花 (*S. canadensis*), 标本存放于江西师范大学生命科学学院植物标本室。无水乙醇、石油醚、乙酸乙酯和正丁醇等均为分析纯; 槲皮素、没食子酸、抗坏血酸 (Vc)、二丁基羟基甲苯 (BHT)、维生素 E 水溶性类似物 (Trolox)、氯化铝 ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )、福林酚试剂 (Folin-Ciocalteu)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (ABTS)、1,1-二苯基苦基苯肼 (DPPH)、2,4,6-三吡啶基三嗪 (TPTZ)、2,2-偶氮-双-(2-脒基丙烷) 氯化二氢 (AAPH) 和荧光素钠 (FL) 等均购于美国 Sigma-Aldrich 公司。

### 1.2 仪器和设备

DHG 型系列电热恒温鼓风干燥箱: 上海精宏实验设备有限公司; DFY-500 型摇摆式高速中药粉碎机: 温岭市林大机械有限公司; 电子分析天平: 北京赛多利斯天平有限公司; KQ-500DE 型数控超声波清洗器: 昆山市超声波仪器有限公司; N-1100 型旋转蒸发器: 上海爱朗仪器有限公司; A-1000S 型真空泵: 上海爱朗仪器有限公司; SynergyH1 型酶标仪: 美国 BioTek 公司。

### 1.3 方法

1.3.1 加拿大一枝黄花乙醇提取物及不同极性萃取物的制备 将加拿大一枝黄花地上部分用清水洗净, 于通风处阴干 3 d, 剪碎后 40 °C 烘干直至恒重, 粉碎成粉末。准确称取加拿大一枝黄花粉末 480.0 g, 用体积分数为 70% 的乙醇室温下浸泡 12 h, 超声波辅助提取 30 min, 重复 4 次, 合并滤液, 减压回收乙醇, 浓缩至浸膏后称重, 得乙醇提取物 (总提取物) 94.76 g。取部分总提取物加水混悬, 依次用石油醚、乙酸乙酯和水饱和和正丁醇与分散液按体积比 3 : 1 混和进行萃取, 重复萃取 4 次, 合并萃取液, 回收溶剂, 浓缩至浸膏, 分别得到加拿大一枝黄花石油醚萃取物、乙酸乙酯萃取物、水饱和和正丁醇萃取物和水层剩余物。

1.3.2 总黄酮含量的测定 总黄酮含量的测定采用氯化铝显色法 (韩成花等, 2014), 并使用酶标仪测定标准品和样品吸光值 (戚见欢等, 2015), 方法略有改动。分别吸取 1.30~13.0  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  浓度的槲皮

素溶液 100.0  $\mu\text{L}$  与 2.0  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  的氯化铝溶液 (用乙醇配制) 100  $\mu\text{L}$  于 96 孔板中混匀, 室温反应 10 min 后, 于 430 nm 处测吸光值。所有测定平行 3 次, 以吸光值  $Y$  对浓度  $X$  作图, 得标准曲线的回归方程为  $Y=0.0643X-0.0946$  ( $R^2=0.995$ ), 结果表明槲皮素在 1.30~13.00  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  范围内与吸光度呈良好线性关系。

样品总黄酮含量的测定: 将各样品用乙醇稀释至适当浓度后测定吸光值, 平行 3 次, 根据标准曲线方程计算样品中总黄酮含量, 结果表示为毫克槲皮素当量每克干物质 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )。

1.3.3 总酚含量的测定 总酚含量的测定采用福林酚法, 参照强毅等 (2013) 的方法略有改动。分别取 10.0~100.0  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的没食子酸 0.2 mL 与质量分数为 10% 的福林酚试剂 0.1 mL 混合, 5 min 后各加入质量分数为 7.5% 的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液 0.8 mL, 避光反应 25 min 后, 4 000  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 3 min, 后分别取上清 200.0  $\mu\text{L}$  于 96 孔板上, 于 765 nm 处测定吸光值。所有测定平行 3 次, 以吸光值  $Y$  对浓度  $X$  作图, 得标准曲线的回归方程为  $Y=0.001X-0.001$  ( $R^2=0.998$ ), 结果表明没食子酸在 10.00~100.00  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  范围内与吸光度呈良好线性关系。

样品的测定: 将各样品用乙醇稀释至适当浓度后测定吸光值, 所有测定平行 3 次, 根据标准曲线方程计算样品中总酚含量, 结果表示为毫克没食子酸当量每克干物质 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )。

1.3.4 ABTS 自由基清除能力的测定 参照 Li et al (2012) 的方法并稍作调整: 配制含 7.0  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  ABTS 和 2.45  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  过硫酸钾的 ABTS 自由基溶液 (现配现用), 室温避光 12 h 后用甲醇稀释到在 734 nm 的吸光值为  $0.7 \pm 0.2$ 。取适宜浓度的样品 50.0  $\mu\text{L}$  (用乙醇配置) 和 ABTS 自由基溶液 200.0  $\mu\text{L}$  于 96 孔板中, 室温反应 6 min 后于 734 nm 处测定样品吸光值 ( $A_s$ ), 用甲醇代替 ABTS 自由基溶液为样品组在反应体系中自身的吸光值 ( $A_b$ ), 用乙醇代替样品为样品空白组吸光值 ( $A_c$ ), 所有测定平行 3 次, 对照样品为 Vc 和 BHT。样品的抗氧化程度用对 ABTS 自由基的清除率表示, 样品浓度相同时, 清除率越大, 抗氧化活性越

强; 清除率相同时 (用半数清除率  $\text{IC}_{50}$  值表示),  $\text{IC}_{50}$  值越低, 抗氧化活性越强。清除率的计算公式采用式 (1), 根据样品浓度与清除率的关系用 Origin 软件进行非线性拟合, 得  $\text{IC}_{50}$  值。

$$\text{清除率} = [(A_c - (A_s - A_b)) / A_c] \times 100\% \quad (1)$$

1.3.5 DPPH 自由基清除能力的测定 参照 Li et al (2012) 的方法, 取 100.0  $\mu\text{L}$  适宜浓度的样品 (用乙醇配置) 与 DPPH 溶液 100.0  $\mu\text{L}$  于 96 孔板上混合, 室温避光反应 30 min 后, 于 517 nm 处测样品吸光值 ( $A_s$ ), 用甲醇代替 DPPH 自由基溶液为样品组在反应体系中自身的吸光值 ( $A_b$ ), 用乙醇代替样品为样品空白组吸光值 ( $A_c$ ), 所有测定平行 3 次, 以 Vc 和 BHT 为阳性对照, 清除率的计算公式同式 (1)。用 Origin 软件进行曲线拟合, 得  $\text{IC}_{50}$  值。

1.3.6 铁离子还原能力的测定 参照 Benzie & Strain (1996) 建立的 FRAP 法配制 FRAP 工作液, 并适当修改, 即准确吸取 25.0  $\mu\text{L}$  各浓度的  $\text{FeSO}_4$  溶液与新鲜配置的 FRAP 工作液 300.0  $\mu\text{L}$  混合于 96 孔板中, 以双蒸水作为空白对照, 迅速摇匀后, 置于 37  $^{\circ}\text{C}$  恒温水浴锅中反应 10 min, 于波长 593 nm 处测定吸光值, 所有测定平行 3 次, 绘制  $\text{FeSO}_4$  浓度和吸光度值 (OD 值) 的标准曲线。以吸光值  $Y$  对浓度  $X$  作图, 得标准曲线的回归方程为  $Y=0.0055X-0.0073$  ( $R^2=0.995$ ), 结果表明  $\text{FeSO}_4$  在 0.78~50.00  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  范围内与吸光度呈良好线性关系。

样品测定: 将样品用乙醇稀释至适当浓度后测定吸光值, 所有测定平行 3 次, 对照样品为 Vc 和 BHT, 根据标准曲线计算  $\text{FeSO}_4$  当量浓度, 用 FRAP 值表示, 即以相当于硫酸亚铁的微克数 ( $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ ) 表示。

1.3.7 氧自由基吸收能力的测定 氧自由基吸收能力测定 (ORAC 法) 在 Huang et al (2002) 和续洁琨等 (2006) 的基础上进行改进。精密吸取不同浓度样品溶液 25.0  $\mu\text{L}$  (用乙醇配置), 加入荧光素钠稀释液 150.0  $\mu\text{L}$  于 96 孔板中, 振荡 5 min, 37  $^{\circ}\text{C}$  温育 10 min 后迅速加入 25.0  $\mu\text{L}$  AAPH 液启动反应, 以激发波长 485 nm、发射波长 535 nm 进行测定并记录荧光值, 反应过程中每隔 1.5 min 测定一次荧光值, 测定时间设定在荧光衰减呈基线后为止, 所有测定平行 3 次。以测定时间为横坐标,

荧光值为纵坐标绘制 Trolox 系列标准溶液和不同浓度样品荧光衰变曲线, Trolox 系列标准溶液的标准曲线为  $Y=5.8211X-0.7086$  ( $R^2=0.997$ )。

将所得的各微孔不同时间点的绝对荧光强度数据与其初始时间的荧光强度相比, 折算成相对荧光强度 ( $f$ ), 以相对荧光强度采用近似积分法计算荧光衰退曲线下面积 (Area Under the Curve, AUC)。其公式为  $AUC=0.5 \times [2 \times (f_0+f_1+\dots+f_{n-1}+f_n)-f_0-f_n] \times \Delta t$ , 其中  $f_n$  表示第  $n$  个测定点的相对荧光强度,  $\Delta t$  标示相邻两个时间点之间的时间间隔 (1.5 min), 根据上述公式可简化为  $AUC=0.75 \times (f_0+f_1+\dots+f_{n-1}+f_n)-f_0-f_n$ 。测定结果以 ORAC 值表示, 即以相当于 Trolox 的微克数 ( $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ ) 表示。其计算公式如下:

ORAC 值 =  $[(AUC_{\text{sample}} - AUC_{+\text{AAPH}}) / (AUC_{\text{Trolox}} - AUC_{+\text{AAPH}})] \times (\text{Trolox 的浓度} / \text{样品的浓度})$ 。

式中, Trolox 的浓度单位为  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 样品的浓度单位为  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

1.3.8 数据分析 采用 SPSS17.0 和 Origin8.6 软件进行数据处理和分析。所有实验平行 3 次, 结果以平均值  $\pm$  标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物的总黄酮和总酚含量

采用氯化铝显色法和福林酚法测定加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物的总黄酮和总酚含量, 结果见表 1。总黄酮和总酚的含量由高到低依次为乙酸乙酯萃取物 > 乙醇提取物 > 正丁醇萃取物 > 水层剩余物 > 石油醚萃取物。由此可见, 乙酸乙酯萃取物中的总黄酮和总酚类化合物含量均是最高。

### 2.2 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物的抗氧化活性

2.2.1 ABTS 自由基清除能力 由图 1 可知, 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其各萃取物对 ABTS 自由基均有清除作用, 一定范围内其浓度与清除率呈一定的量效关系。采用 Origin 8.6 进行曲线拟合, 得到乙醇提取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃

表 1 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物总黄酮和总酚含量

Table 1 Total flavonoids and phenolic contents in ethanol extract and various polarity parts of *Solidago canadensis*

样品 Sample	总黄酮含量 Total flavonoids content ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	总酚含量 Total phenolic content ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )
乙醇提取物 Ethanol extract	50.80 $\pm$ 0.53b	392.72 $\pm$ 0.59b
石油醚萃取物 Petroleum ether extract	8.23 $\pm$ 0.03d	5.20 $\pm$ 0.15d
乙酸乙酯萃取物 Ethyl acetate extract	202.45 $\pm$ 2.85a	485.94 $\pm$ 7.90a
正丁醇萃取物 N-butanol extract	36.16 $\pm$ 1.54c	251.17 $\pm$ 1.59c
水层剩余物 Water residual	34.75 $\pm$ 8.04c	249.85 $\pm$ 2.74c

注: 同一列相同小写字母表示差异不显著 ( $P < 0.05$ ); 不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Same letters in same column indicate no significant differences ( $P < 0.05$ ); Different letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

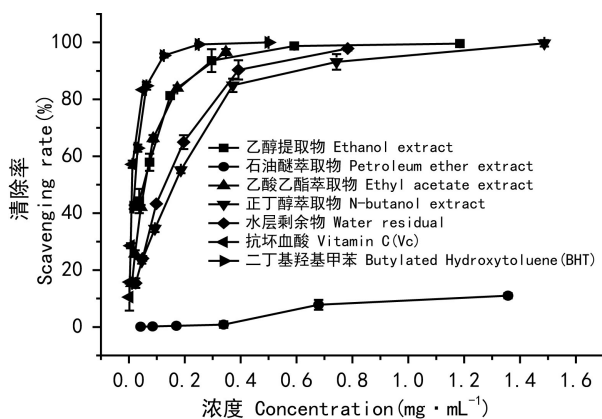


图 1 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物对 ABTS 自由基的清除效果

Fig. 1 ABTS radical scavenging result in ethanol extract and various polarity parts of *Solidago canadensis*

取物、水层剩余物、Vc 和 BHT 的  $IC_{50}$  值分别为 0.059、0.055、0.159、0.129、0.022 和 0.021  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 由于石油醚萃取物的测试浓度偏低 (测试最高浓度为 1.357  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 其清除率为 11.00%),

对 ABTS 自由基的清除能力相对较弱,所以未能求得  $IC_{50}$  值。 $IC_{50}$  值越小,抗氧化能力越强,因此清除 ABTS 自由基的能力由强到弱依次为  $BHT > Vc > 乙酸乙酯萃取物 > 乙醇提取物 > 水层剩余物 > 正丁醇萃取物$ ,这表明加拿大一枝黄花不同极性部位的抗氧化能力存在差异,乙酸乙酯萃取物的抗氧化能力最强,石油醚萃取物的抗氧化能力最弱。

**2.2.2 DPPH 自由基清除能力** 由图 2 可知,加拿大一枝黄花乙醇提取物及其各萃取物对 DPPH 自由基均具有清除作用,且在实验浓度范围内随着浓度的增加清除率升高,呈现明显的量效关系。采用 Origin 8.6 进行曲线拟合,得到乙醇提取物、乙酸乙酯萃取物、正丁醇萃取物、Vc 和 BHT 的  $IC_{50}$  值分别为  $0.389$ 、 $0.084$ 、 $0.486$ 、 $0.080$  和  $0.191$   $mg \cdot mL^{-1}$ ,由于石油醚萃取物和水层剩余物的测试浓度偏低(石油醚萃取物测试最高浓度为  $2.714$   $mg \cdot mL^{-1}$ ,其清除率为  $47.54\%$ ,水层剩余物测试最高浓度为  $0.783$   $mg \cdot mL^{-1}$ ,其清除率为  $34.93\%$ ),对 DPPH 自由基的清除能力相对较弱,所以未能求得  $IC_{50}$  值。 $IC_{50}$  值越大,抗氧化能力越弱,因此加拿大一枝黄花清除 DPPH 自由基的能力由强到弱依次为  $Vc > 乙酸乙酯萃取物 > BHT > 乙醇提取物 > 正丁醇萃取物$ ,这表明加拿大一枝黄花不同极性部位的抗氧化能力存在差异,乙酸乙酯萃取物的抗氧化能力最强,高于 BHT ( $P < 0.01$ ),且与 Vc 的抗氧化能力相近 ( $P > 0.05$ )。

加拿大一枝黄花正丁醇萃取物和水层剩余物对 ABTS 自由基和 DPPH 自由基表现出不同的清除能力,这可能与加拿大一枝黄花抗氧化活性成分对不同自由基的敏感性及其作用机理差异有关(周凯等,2015)。

**2.2.3 铁离子还原能力** FRAP 法是评价生物活性物质总抗氧化能力的方法,在酸性条件下, $Fe^{3+}$  与 TPTZ 形成复合物 ( $Fe^{3+}-TPTZ$ ),在还原物质的作用下,复合物被还原为二价铁而呈明显的蓝色,其吸光度的变化与还原物质的含量呈比例关系,在  $593$  nm 处有最大吸收,结果常用 FRAP 值(即  $\mu g$  硫酸亚铁当量  $\cdot mg^{-1}$ )表示,FRAP 值越大,抗氧化能力越强(周佳等,2012; 陈玉霞等,2011)。

由图 3 可知,加拿大一枝黄花乙醇提取物及其各萃取物对铁离子还原能力的大小依次为  $BHT >$

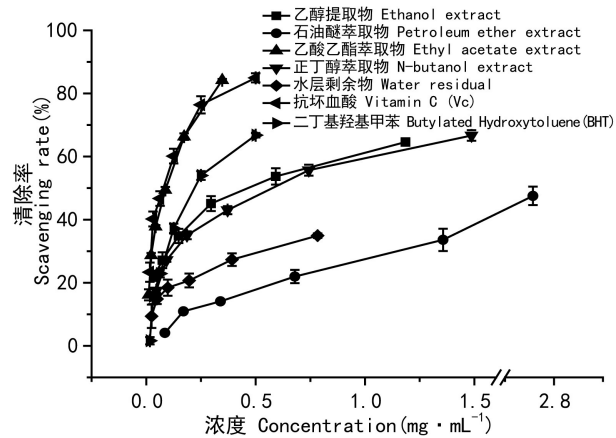


图 2 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物对 DPPH 自由基的清除效果

Fig. 2 DPPH radical scavenging result in ethanol extract and various polarity parts of *Solidago canadensis*

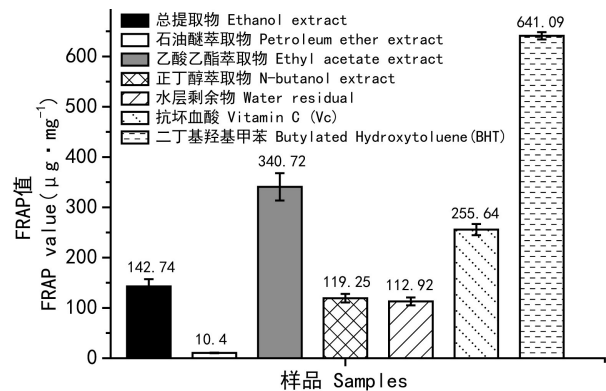


图 3 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物的铁离子还原能力

Fig. 3 Ferric reducing ability in ethanol extract and various polarity parts of *Solidago canadensis*

乙酸乙酯萃取物  $> Vc > 乙醇提取物 > 正丁醇萃取物 > 水层剩余物 > 石油醚萃取物$ ,这表明乙酸乙酯萃取物比 Vc 的抗氧化能力强 ( $P < 0.05$ ),是 Vc 的 1.33 倍,可作为一种潜在的高效抗氧化剂。

**2.2.4 氧自由基吸收能力** 氧自由基吸收能力 (oxygen radical absorbance capacity, ORAC) 又称抗氧化能力指数,是目前抗氧化研究领域为人们较关注的一个评价方法。该方法的专属性、线性、精密度、准确度及重复性等与其他抗氧化能力分

析方法相比具有诸多优点,目前已成功应用于植物或食品提取物和纯化合物或生物样品等多种样品体内抗氧化能力分析(续洁琨等,2006)。氧自由基吸收能力常用 ORAC 值表示,即  $\mu\text{g Trolox 当量} \cdot \text{mg}^{-1}$  表达。由图 4 可知,加拿大一枝黄花的乙醇提取物及其各萃取物氧自由基吸收能力的大小依次为 BHT>乙酸乙酯萃取物>Vc>正丁醇萃取物>水层剩余物>乙醇提取物>石油醚萃取物。ORAC 结果表明乙酸乙酯萃取物的抗氧化能力最强,石油醚萃取物的抗氧化能力最弱,这与 ABTS、DPPH 和 FRAP 所得结果一致。

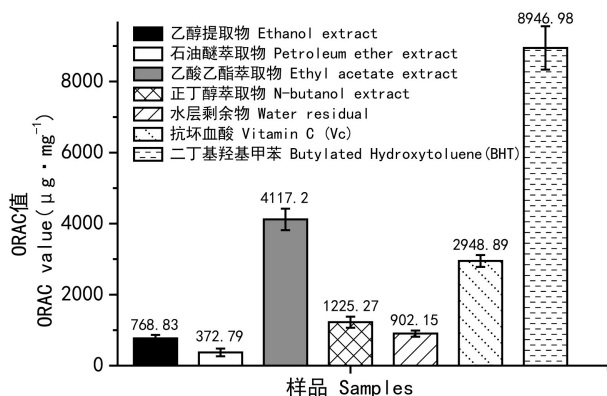


图 4 加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物的抗氧化能力指数

Fig. 4 Index of antioxidant ability in ethanol extract and various polarity parts of *Solidago canadensis*

### 3 讨论与结论

自由基可以与细胞内的 DNA、蛋白质和多元不饱和脂肪酸 (PUFA) 作用,造成 DNA 链断裂和氧化性损伤、蛋白—蛋白交联、蛋白—DNA 交联和脂质过氧化,损害机体的细胞和组织,影响功能,引起各种病变(崔剑等,2000)。帕金森病、心脏病、肿瘤和老年痴呆症等疾病都与自由基有关 (Halliwell, 1993)。

植物中的多酚和黄酮等活性物质能够清除体内过剩的自由基。本研究结果表明加拿大一枝黄花乙醇提取物及其不同极性萃取物中均含有黄酮和酚类物质,其中乙酸乙酯萃取物中的含量最高,且其抗氧化能力最强,并强于阳性对照 Vc ( $P <$

0.05)。加拿大一枝黄花为一种恶性的外来入侵物种,在我国大肆繁殖生长,对我国的农林生态系统产生了严重影响。对其进行开发利用是一种有效的防控手段,利用加拿大一枝黄花乙酸乙酯萃取物消除自由基等的高抗氧化活性,可将其进一步开发利用,变废为宝。

### 参考文献:

- BENZIE IF, STRAIN JJ, 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. *Anal Biochem*, 239 (1): 70-76.
- CHEN YX, LIU JH, LIN F, et al, 2011. Determination of antioxidative activity of 41 kinds of Chinese herbal medicines by using DPPH and FRAP methods [J]. *Res Expl Lab*, 30 (6): 11-14. [陈玉霞, 刘建华, 林峰, 等, 2011. DPPH 和 FRAP 法测定 41 种中草药抗氧化活性 [J]. *实验室研究与探索*, 30 (6): 11-14.]
- CUI J, LI ZL, HONG XY, 2000. Bio-antioxidants with ill therapy [J]. *J Tsinghua Univ (Sci & Technol Ed)*, 40 (6): 9-12. [崔剑, 李兆陇, 洪啸吟, 2000. 自由基生物抗氧化与疾病 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 40 (6): 9-12.]
- EDITS DFRP, 1985. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* [M]. Beijing: Science Press: 74. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 1985. *中国植物志* [M]. 北京: 科学出版社: 74.]
- GOU MY, LIU L, ZHANG CZ, 2010. Determination of antioxidant activity in 26 plants by DPPH method [J]. *Food Fer Ind*, 36 (3): 148-150. [勾明玥, 刘梁, 张春枝, 2010. 采用 DPPH 法测定 26 种植物的抗氧化活性 [J]. *食品与发酵工业*, 36 (3): 148-150.]
- HALLIWELL B, 1993. The role of oxygen radicals in human disease, with particular reference to the vascular system [J]. *Pathophysiol Haemo Thromb*, 23 (1): 118-126.
- HAN CH, BAI YH, YU CY, et al, 2014. Explore of the determination of the content of total flavonoids from *Portulaca oleanacea* L. in Daqing [J]. *Chin Med Her*, 11 (2): 108-110. [韩成花, 白玉华, 于春月, 等, 2014. 大庆地区马齿苋总黄酮含量测定方法探讨 [J]. *中国医药导报*, 11 (2): 108-110.]
- HUANG B, LEI Y, QIN L, et al, 2012. Chemical composition and cytotoxic activities of the essential oil from the inflorescences of *Solidago canadensis* L., an invasive weed in Southeastern China [J]. *J Essent Oil Bear Plant*, 15 (4): 667-671.
- HUANG DJ, OU BX, HAMPSCHWOODILL M, et al, 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format [J]. *J Agric Food Chem*, 50 (16): 4437-4444.

- KASALA ER, BODDULURU LN, BARUA CC, et al, 2016. Antioxidant and antitumor efficacy of *Luteolin*, a dietary flavone on benzo (a) pyrene-induced experimental lung carcinogenesis [J]. *Biomed Pharmacother*, 82 (5): 568–577.
- LI JH, TIAN SN, WEI ZJ, et al, 2007. Study on the bacteriostasis of *Solidago canadensis* L. [J]. *J Anhui Agric Sci*, 35 (34): 10975–10976. [李军红, 田胜尼, 魏兆军, 等, 2007. 加拿大一枝黄花的抑菌性研究 [J]. *安徽农业科学*, 35 (34): 10975–10976.]
- LI X, LIN J, GAO Y, et al, 2012. Antioxidant activity and mechanism of *Rhizoma cimicifugae* [J]. *Chem Cent J*, 6 (1): 1–10.
- LONG LD, MOU SY, TAO WQ, 2015. Analysis on the characteristics and the present status of three lists of alien invasive plant species published in China [J]. *Ecol Sci*, 34 (3): 31–36. [龙连娣, 缪绅裕, 陶文琴, 2015. 中国公布的 3 批外来入侵植物种类特征与入侵现状分析 [J]. *生态科学*, 34 (3): 31–36.]
- LU J, 2007. Potential distribution of *Solidago canadensis* in China [J]. *Acta Phytotax Sin*, 45(5): 670.
- MCCUNE LM, JOHNS T, 2002. Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the indigenous peoples of the North American boreal forest [J]. *J Ethnopharmacol*, 82 (23): 197.
- QIANG Y, WANG ZJ, WANG KK, 2013. Determination of total polyphenols and antimicrobial activity of methanol extract from *Sedum aizoon* L. [J]. *Sci Technol Food Ind*, 34 (5): 53–56. [强毅, 王政军, 陈克克, 等, 2013. 费菜多酚含量的测定及体外抗菌活性研究 [J]. *食品工业科技*, 34 (5): 53–56.]
- QIAN H, LI F, REN Y, et al, 2015. Antimicrobial activity and preservation function of the flavonoids extracted from inflorescence of *Solidago canadensis* L. [J]. *J Nanjing Norm Univ (Nat Sci Ed)*, (3): 80–83. [钱慧, 李飞, 任勇, 等, 2015. 加拿大一枝黄花花序中黄酮类化合物的抑菌及保鲜作用研究 [J]. *南京师大学报 (自然科学版)*, (3): 80–83.]
- QI JH, ZHANG C, WU ZG, et al, 2015. Studies of tissue-specific changes of total flavonoids content at low temperature in *Nitraria tangutorum* Bobr [J]. *Shandong For Sci Technol*, 218 (3): 7–9. [戚见欢, 张琛, 武志刚, 等, 2015. 低温对白刺黄酮含量影响的组织特异性研究 [J]. *山东林业科技*, 218 (3): 7–9.]
- SHEN X, ZOU ZR, 2016. Review on research progress of chemical constituents and bioactivities of *Solidago* [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 41 (23): 4303–4313. [沈校, 邹峥嵘, 2016. 一枝黄花属植物的化学成分和生物活性研究进展 [J]. *中国中药杂志*, 41 (23): 4303–4313.]
- SUGAMURA K, JR JFK, 2011. Reactive oxygen species in cardiovascular disease [J]. *Free Radical Biol Med*, 51 (5): 978.
- TANG LH, MA LM, 2015. Research on invasion mechanism and control strategy of *Solidago canadensis* L. [J]. *J Anhui Agric Sci*, 43 (21): 138–139. [唐路恒, 马利民, 2015. 加拿大一枝黄花入侵机理及控制策略 [J]. *安徽农业科学*, 43 (21): 138–139.]
- TANG X, ZHU JH, 2012. Dynamic analysis of hydroxyl radical scavenging activity of different extracts of *Solidago Canadensis* L. [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 21(9): 139–144. [汤晓, 朱建华, 2012. 加拿大一枝黄花不同部位提取液羟基自由基清除能力的动态分析 [J]. *西北农业学报*, 21(9): 139–144.]
- WANG F, 2012. A research of current status and control strategies of invasive biological in Hubei Province [D]. *Jingzhou: Yangtze University*. [王峰, 2012. 湖北省入侵生物发生现状及治理对策研究 [D]. 荆州: 长江大学.]
- WANG KJ, CHEN LZ, LI N, et al, 2006. Antioxidant and radical-scavenging activity of flavonoids from *Solidago canadensis* [J]. *Chin Pharm J*, 41 (7): 493–497. [王开金, 陈列忠, 李宁, 等, 2006. 加拿大一枝黄花黄酮类成分及抗氧化与自由基消除活性的研究 [J]. *中国药学杂志*, 41 (7): 493–497.]
- WU JQ, KOSTEN TR, ZHANG XY, 2013. Free radicals, antioxidant defense systems, and schizophrenia [J]. *Prog Neuro-Psychoph*, 46 (1): 200.
- XU JK, YAO XS, LI YB, 2006. Oxygen radical absorbance capacity assay and its application [J]. *Chin Pharmacol Bull*, 22 (8): 1015–1021. [续洁琨, 姚新生, 栗原博, 2006. 抗氧化能力指数 (ORAC) 测定原理及应用 [J]. *中国药理学通报*, 22 (8): 1015–1021.]
- YOU X, 2006. Food anti-oxidants and their influence to human health [J]. *J Food Sci Biot*, 25 (2): 1–7. [尤新, 2006. 食品抗氧化剂与人体健康 [J]. *食品与生物技术学报*, 25 (2): 1–7.]
- ZHOU J, RUAN Z, JIANG B, et al, 2012. Analysis of antioxidant capacity of vegetables and correlation of phenolic acid and flavonoids and antioxidant capacity [J]. *Food Mach*, 28 (3): 139–143. [周佳, 阮征, 江波, 等, 2012. 蔬菜抗氧化能力及与酚酸和总黄酮相关性研究 [J]. *食品与机械*, 28 (3): 139–143.]
- ZHOU K, HU ZY, ZHOU ML, et al, 2015. *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities from longan (*Dimocarpus Longan* Lour.) seed extracts [J]. *Food Mach*, 31 (4): 167–171. [周凯, 胡卓炎, 周沫霖, 等, 2015. 龙眼核提取物的体外抗氧化及抑菌活性研究 [J]. *食品与机械*, 31 (4): 167–171.]
- ZENG Z, MA W, LI Y, et al, 2012. Two new diterpenes from *Solidago canadensis* [J]. *Helv Chim Acta*, 95 (7): 1121–1125.